

**УДК 631.311**

**Олександр Вакуленко, Петро Оліярник, Андрій Бартків**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ**

Розглянута проблема оцінювання надійності пристроїв релейного захисту. Доведено, що при виборі мікропроцесорних пристроїв для кіл дії струмів короткого замикання необхідно проводити додаткові обчислення надійності як окремих вузлів, так і пристроїв в цілому, а також враховувати інтенсивність їх роботи у цих колах.

Ключові слова: надійність, релейний захист, мікропроцесорні пристрої, ймовірність відмов.

**Oleksandr Vakulenko, Petro Oliarnyk, Andriy Bartkiv**

**ANALYSIS OF THE RELAY PROTECTION SCHEMES RELIABILITY IN HIGH VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS**

The problem of estimating the relay protection devices reliability is considered. It is proved that when choosing microprocessor devices for the circuits of short-circuit currents it is necessary to carry out additional calculations of reliability as separate nodes and devices in general, and also to take into account the intensity of their work in these circles.

Keywords: reliability, relay protection, microprocessor devices, probability of failures.

Відомо [1], що до 30% важких аварій у електроенергетичних системах (ЕЕС) є наслідком неправильних дій релейного захисту та протиаварійної автоматики. В (50 ... 70)% випадків вони призводять до розвитку аварійних ситуацій в тяжкі системні аварії. Крім того, приблизно (30 ... 40)% неправильних дій пов'язані з несправністю самих пристроїв та схем релейного захисту: помилки в апаратній частині, логічній частині або в алгоритмах.

Таким чином, кількісне оцінювання надійності релейного захисту в ЕЕС та її підсистемах представляє собою актуальну задачу. Особливо актуальною вона є для схем релейного захисту, в яких використовуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту (МПРЗ), які, згідно зі статистичними даними [1], мають нижчу експлуатаційну надійність за схеми з електромеханічними реле.

За даними [1] 75% всіх ушкоджень мікропроцесорних пристроїв відбувається через вплив перенапруги з амплітудою від десятків вольт до декількох кіловольт, що виникають внаслідок комутаційних процесів у колах коротких замикань або при впливі електростатичних розрядів. Досліджено, що реле захисту на електронних елементах мають утричі більшу пошкоджуваність, ніж електромеханічні, а мікропроцесорні - в 50 разів. Крім того, на відміну від звичайних мікросхем, відмовою мікропроцесора є не тільки його фізичне ушкодження, але також і збої в програмному забезпеченні, що зумовлює необхідність періодичного відновлення версій програм МПРЗ [1].

Перераховані чинники підтверджують актуальність та важливість задачі кількісного оцінювання надійності пристроїв та схем релейного захисту, в першу чергу МПРЗ. Проаналізувавши існуючі показники надійності, для подальшого дослідження обрано ймовірність відмови у спрацюванні пристрою релейного захисту на інтервалі часу  $Q(\Delta t)$ .

Аналіз методів оцінювання надійності пристроїв релейного захисту показав, що для кількісного визначення ймовірності  $Q(\Delta t)$  найбільше підходить метод «дерева відмов» [2], який дозволяє визначити шукану величину  $Q(\Delta t)$  як функцію від показників

надійності елементів, що складають схему релейного захисту, як на електромеханічній, так і на мікропроцесорній базі. Також цей метод є адаптивним до врахування технічного стану конкретних пристроїв релейного захисту при використанні нечітко-статистичного підходу при оцінюванні ризику виникнення аварії в ЕЕС.

Для визначення ймовірності знаходження схеми релейного захисту в непрацездатному стані на інтервалі часу  $\Delta t = t_2 - t_1$  необхідно визначити ймовірності відмови захисту в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$ . Вони визначаються за ланцюгом відмов пристрою релейного захисту:  $Q(t) = 1 - P_1(t) \cdot \dots \cdot P_i(t) \cdot \dots \cdot P_m(t)$ , де  $P_i(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи в момент часу  $t$   $i$ -тої ланки ланцюга з  $m$  відмов об'єкта. Оскільки ланки у ланцюгу з'єднані послідовно, ймовірність безвідмовної роботи ланцюга визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи всіх ланок.

В свою чергу, ймовірність безвідмовної роботи кожної ланки  $P_i(t)$  визначається як сума ймовірностей сумісних подій, так як кожна ланка представляє собою паралельне з'єднання елементів релейного захисту, одночасна відмова яких призводить до непрацездатності всього захисту. В загальному випадку для  $i$ -тої ланки з  $n$  паралельних елементів ймовірність безвідмовної роботи складає:

$$P_i(t) = \sum_{j=1}^n P_{W_j}(t) - \sum_{j,k=1}^n P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) + \sum_{j,k,l=1}^n P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) \cdot P_{W_l}(t) - \dots,$$
 де  $P_{W_j}(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи елементів релейного захисту  $W_{j,k,l}$ ,  $j, k, l \in W$  та  $W$  - множина елементів, з яких складається схема захисту.

Ймовірності безвідмовної роботи елементів релейного захисту визначаються одним з таких способів:

1) за експоненційним законом розподілу ймовірності відмови об'єкта за незмінних параметрів потоку відмов  $\omega_j = \text{const}$ ,  $j \in W$  відповідних елементів

$$P_{W_j}(t) = \exp(-\omega_j \cdot t);$$

2) за статистичними інтегральними функціями розподілу ймовірності відмов елементів релейного захисту кожного типу  $F_j(t)$ :  $P_{W_j}(t) = 1 - F_j(t)$ ;

3) за статистичними інтегральними функціями розподілу ймовірності відмов, модифікованими з урахуванням фактичного технічного стану кожного окремого елемента захисту  $F_j^M(t)$ :  $P_{W_j}(t) = 1 - F_j^M(t)$ .

Кожен із запропонованих способів має свої переваги та недоліки. Проте, модифіковані функції  $F_j^M(t)$  дозволяють отримати найбільш точну кількісну оцінку ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента  $i$ , як наслідок, всієї схеми релейного захисту, але їх використання вимагає наявності адекватних моделей стану окремих пристроїв та реле, що ускладнене внаслідок їхньої великої різноманітності.

Після визначення ймовірностей відмови розглядуваної схеми релейного захисту в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$  визначають ймовірність відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу. Якщо відомо, що в деякий момент часу схема релейного захисту була працездатною, то ймовірність її відмови на інтервалі часу  $\Delta t$  визначається як:  $Q(\Delta t) = [Q(t_2) - Q(t_1)] / [1 - Q(t_1)]$ .

Отримана ймовірність відмови є кількісною характеристикою надійності схеми релейного захисту на інтервалі часу і може бути використана в задачах оцінювання ризику виникнення аварії в ЕЕС та подальшого прийняття рішень щодо зниження його величини.

Так [2], на Дніпровській ГЕС-1 у 2009—2010 роках була проведена заміна комірок КРП-6 кВ мережі власних потреб з електромеханічними захистами на сучасні коміртки, оснащені мікропроцесорними терміналами типу MICOM P139 (струмові реле) та MICOM P922 (реле напруги) фірми AREVA T&D. Приєднання мережі 6 кВ захищались такими захистами:

- максимальний струмовий захист (МСЗ);
- струмова відсічка (СВ).

Після заміни комірок комплект струмових захистів залишився незмінним.

Для отримання кількісної оцінки ймовірності відмови у спрацюванні релейного захисту на інтервалі часу був використаний метод дерева відмов з розкладанням схеми згідно обраного елемента. Слід зазначити, що для різних видів короткого замикання (к.з.), які можуть виникнути у мережі 6 кВ з ізольованою нейтраллю, а саме: трифазного к.з. АВС та двофазних АВ, ВС й СА, вигляд дерева відмов буде різним. Також його структура буде залежати від того, відбулось к.з. на початку лінії, що захищається (зона дії СВ) чи в кінці лінії (зона дії МСЗ). В даному дослідженні оцінювання надійності схем релейного захисту і, як наслідок, побудова дерев відмов була виконана для найтяжчого з можливих пошкоджень - близького трифазного к.з.

За побудованими деревами відмов складаються відповідні ланцюги відмов. Для оцінювання ймовірності знаходження пристрою релейного захисту в непрацездатному стані на інтервалі часу, до прикладу,  $\Delta t = 3$  місяці необхідно обрати спосіб визначення ймовірності безвідмовної роботи елементів схеми релейного захисту та провести аналіз наявних даних з відмов електромеханічних струмових реле, реле часу, проміжних реле й мікропроцесорного терміналу.

Параметри потоків відмов елементів, що входять до складу обох схем: електромеханічного РЗ й МПРЗ складають [2]:

- трансформатори струму (ТС) -  $\omega_{ТС} = 0,0003$  1/рік ;
- струмові реле (РС) -  $\omega_{РС} = 0,0001$  1/рік ;
- реле часу (РЧ) -  $\omega_{РЧ} = 0,0005$  1/рік ;
- проміжне реле (РП)  $\omega_{РП} = 0,0003$  1/рік;
- мікропроцесорний термінал (МПТ) -  $\omega_{МПТ} = 0,001$  1/рік.

За приведеними параметрами потоків відмов розраховані ймовірності відмов в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$  й за проміжок  $\Delta t = 3$  місяці електромеханічного РЗ й МПРЗ, відповідно:  $Q_{ЕМРЗ}(\Delta t) = 0,000075$  та  $Q_{МПРЗ}(\Delta t) = 0,00025$ .

На основі проведеного аналізу показано, що насправді надійність окремих типів МПРЗ на даний час на порядок нижча від надійності електромеханічних і електронних реле захисту, виконаних на дискретних елементах.

Для підвищення надійності МПРЗ в них доцільно застосовувати сучасні високопродуктивні, завадостійкі з наднизьким енергоспоживанням 8-ми та 16-ти розрядні однокристальні мікроконтролери, наприклад, фірм SiLabs та Texas Instruments з потужною за складом високочастотною аналоговою і цифровою периферією.

### **Література**

1. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты. Мифы и реальность // Вести в электроэнергетике. – 2008. – № 4. – С. 29-37.
2. Літвінов В.В. Порівняльний аналіз надійності схем релейного захисту з електромеханічними та мікропроцесорними реле / В.В. Літвінов, Я.С. Саченко // Гідроенергетика України. - 2015. - №1-2. - С. 10–17.